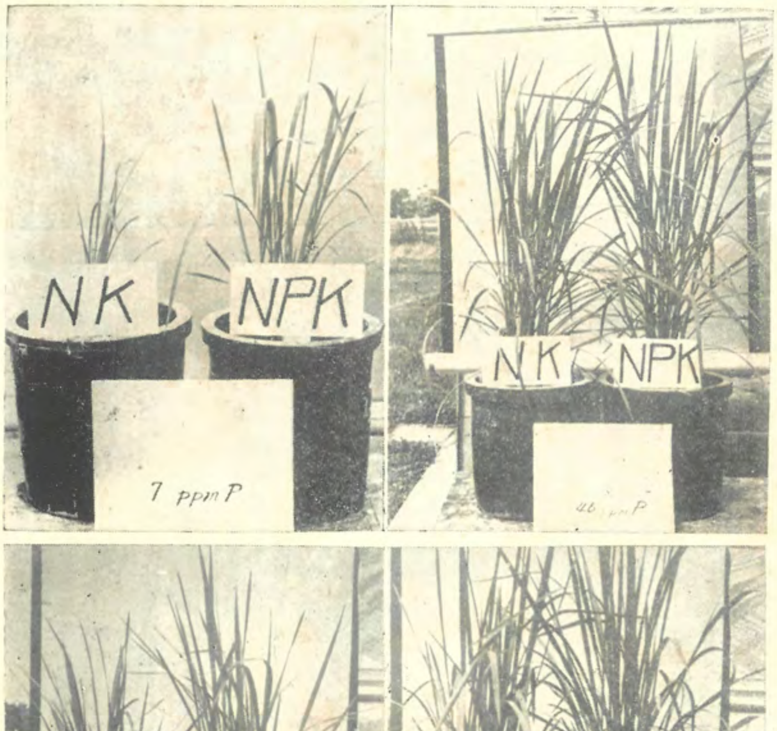
臺灣省農業試驗所試驗報告

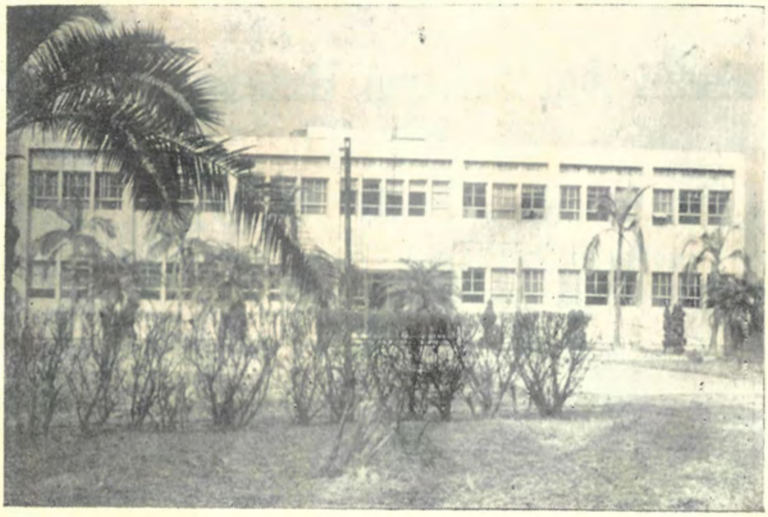
第二十八號

Bulletin
of
Taiwan Agricultural Research Institute
No. 28

臺灣省農田肥力測定
A Report on the Soil Test for the Cropland of Taiwan



臺灣省農業試驗所刊行
臺灣省 臺北市
中華民國五十六年十二月
Published by
Taiwan Agricultural Research Institute
Taipei, Taiwan, China



臺灣省農業試驗所土壤肥力研究室正面

臺灣省農業試驗所土壤肥力研究室內部之一角

本計劃執行之經過

本計劃自民國48年開始，由曾憲鼎氏主持，王挨皇氏協助，迨至54年初曾氏應聯合國糧農組織之聘，赴韓履新前，計完成之重要業績如后：

1. 籌建並落成土壤肥力研究用二層大樓乙座，及化驗設備，其中並配備有年容分析30,000個樣本的土壤速測室。

2. 經盆栽與田間試驗研究結果，選定白雷氏第一法 (Bray's P_1 method) 與孟立克氏(Mehl-ich) 法，各為本省稻作磷鉀速測法。

3. 初步建立土壤磷鉀速測指數，與稻谷對於磷鉀效應之關係。

4. 完成11縣之農田肥力詳測，以其完成之先後順序，為桃園、新竹、苗栗、宜蘭、彰化、屏東、臺中、雲林、嘉義、高雄、及部分臺南縣，共計分析土壤樣本達67,605個之多。自曾氏離臺赴韓後，暫由王挨皇氏代理，在民國54年初至同年6月底間完成臺南縣農田肥力測定與資料之整理，迨至54年7月由林家棻氏接續，並辦理臺北、南投、臺東與花蓮等縣農田肥力測定，以及整理舊存資料與編繪各縣農田肥力分佈圖等，55年4月間，王挨皇氏奉派多明尼加共和國任中國農業技術團技師一職後，所方另派曾技正浴沂來室協助，由於該計劃歷時8年之久，每縣肥力分佈草圖完成後，由曾技正浴沂實地抽樣予以校對修正。

截至民國56年底為止，本計劃共計採取土壤樣本78,635個，以每10公頃採取一個樣本，相當於786,350公頃，按農林廳編農業年報（55年度）中記載，本省耕地面積除（基隆、臺北、臺中、臺南及高雄等省轄市及澎湖外），為860,656.50公頃，兩者相差約7萬餘公頃，其中可能因部分臺糖自營農場，未採取土壤樣本，或因部分地區擴建關係，或因地形限制，採取樣本密度超出10公頃範圍等等原因所致。

目前共計完成15縣之農田肥力分佈圖，每縣計有土壤質地、土壤反應、土壤有機物、土壤有效磷與有效鉀等5種，其比例尺均為 1/100,000，並經着色分發各該縣政府，以供地方農業建設之用，此外並完成 1/500,000 比例尺之省農田肥力分佈圖附於本報告中，以供一般之參考。

本計劃在進行當中對樣本之採集，承蒙各縣政府通力合作，各鄉鎮公所農務人員之協助，根據地籍圖實地採樣，以及各有關單位之支持，使得本計劃得以順利進行。

至於土壤化驗與資料之整理，則得力於歷年來於該項計劃下聘請之技術人員，如萬懿文、王明娉、朱莉英、黃安一、趙淼生、陳夏生、趙美、張簡麗明、溫大寧、李子純、張愛華、張曼麗、文巧霞、饒富榮、陳添旺、邱敏華、劉春蓮、范文發、范文勝、彭守彬、曾肇清、邱南山、劉以興、朱貴和林捷魁、陳卿英、白克儀等諸君之協助。而土壤肥力之分佈圖，則由黎建氏任總編繪，本報告之編寫則由林家棻氏主筆，其鵠的乃闡述農田肥力之真諦及測定之法，以資地方農務人員從事教育推廣之參考。

本計劃進行期中，諸承中國農村復興聯合委員會席技正連之、步技正焱昇博士、國立臺灣大學張教授守敬博士、省農林廳農產科陳科長振凱、施股長名南、糧食局肥料運銷處李組長培基、林技正任圖、以及農業試驗所徐所長水泉博士、農業化學系梁主任鉅榮等熱誠指導與支持，此外該計劃歷年所須經費與設備，均由中國農村復興聯合委員會與臺灣省糧食局之補助，本報告中所附圖片，多承農復會鮑技正國深代為攝製，謹此一併深致謝忱。

林家棻　謹識

民國56年12月

臺灣省農田肥力測定

土壤肥力研究室

目　　　的

為明瞭本省各地農田肥力狀況，提高肥料效應，指導教育農民施肥，强化配肥制度，制定肥料生產政策，以及提供有關機構土壤肥力研究之基本資料。

方　　　法

1. 土壤樣本之採取　各鄉鎮公所農務人員經由縣政府召集，接受省農業試驗所技術人員講解，採取土壤樣本方法之後，按照該縣 1/4800 地籍圖及當地之地形、地勢，以每10公頃農地劃為一單位，採取代表性之表土混合樣本一個（圖片１），同時將採樣地點、地形、地勢、灌排水情形，作物種類，生長情形以及施肥數量等，詳塡於土壤資料表上，同一鄉鎮內之土壤樣本採取完畢後，將樣本連同資料表，以及採樣用 1/4800 地籍圖一併寄交省農試所土壤肥力研究室，予以處理。

2. 土壤樣本之調製　土壤樣本運抵臺灣省農業試驗所後，立即拆封、點收、登記，經乾燥後（圖片２），用電動磨碎機予以磨細，並通過 2mm 篩後（圖片３）裝於原紙盒中，送往土壤樣本室編列號碼，上架，以供化驗之用（圖片４）。

3. 土壤測定方法與分級標準　本文所述測定方法，以每人每日工作８小時，測定一項目計 100 個樣本為原則，其中包括樣本之量取、測定、記載、與用具洗滌等在內。

A. 質地　乃指土壤中所含砂粒，坋粒與粘粒的百分比，按照美國農部分級標準，用比重計法（圖片５）校對後，用手指感覺測定之。

土壤質地原分為12級，但為實用起見，本報告中分為５級如下：1) 粗質地 (C) 包括砂土與壤質砂土，2) 中粗質地 (MC) 以砂質壤土為主，3) 中質地 (M 包括壤土、坋質壤土與坋質土，4) 中細質地 (MF) 包括粘質壤土、砂質粘壤土與坋質粘壤土及 5) 細質地 (F) 為砂質粘土、坋質粘土與粘土，玆更將比重計測定法說明於下：

質地：比重計法 (Hydrometer method)

(a) 設備：① Bouyoucos 氏比重計　② 電動攪拌器及攪拌杯

③ 玻璃筒，直徑為 $2\frac{1}{2}$吋、高 18吋 在 1,100ml 及 1,050ml 處各作一刻度。

(b) 試藥：① 5％ Calgon 液，稱 50gm $(NaPO_3)_6$ 溶於 1000ml 蒸餾水中。

② 戊醇 (amyl alcohol)

(c) 方法：

稱烘乾土壤 50gm 或 100gm 砂土於 400ml 的燒杯中，加 100ml 的①液，充分拌勻後，予以過夜（或放置 15-20小時後），用蒸餾水將土壤洗於攪拌杯中，並添水離杯口約３吋處，經攪拌２分鐘後，洗於玻璃筒中，若用土壤 50gm時，添水至 1,050gm 處，若用土 100ml 時，則添水至 1.100ml 刻度處，然後以手掌緊壓筒口，上下倒轉猛搖數次後，迅置於桌上，此時若發現泡沫甚多，可加②液３滴，記取時間，在靜置約30秒鐘後，輕輕插入比重計（圖片５）不使擺動，至40秒時，記錄比重計的讀數，取出比重計時，勿搖動玻璃筒，待靜置２小時，再以比重計測其讀數。另用一玻璃筒加 100ml 的①液並添水至刻度處，經搖勻，靜置後，插入比重計，記錄其讀數。

每次測定土壤懸液之比重時，並測定溫度，由於比重計係在 67°F 溫度下所校正，故如高於 67°F 時，每增高 1°F，比重計之讀數應加 0.2度，如低於 67°F 時，每低 1°F 須減 0.2 度，在

溫度低於60°F或高於76°F，應避免測定，同時每次讀數應減去比重計，在 calgon 液中的讀數。

在40秒鐘由比重計所測之讀數經溫度校正後，以烘乾之土壤樣本重量除之，乘以 100 轉變爲百分數，此表示樣本中坋粒與粘粒的%。

在經過 2 小時由比重計所測之讀數經校正後，以烘乾之土壤樣本重量除之，乘以 100 轉變爲百分數，此表示樣本中粘粒之%。

以坋粒與粘粒之%，減去粘粒之%，即爲土壤中坋粒%，

以 100 －（坋粒%＋粘粒%）＝砂粒%。

由三種土粒之%，查對圖一，即可求該土壤的質地屬於何種等級。

B. 土壤 *p*H: 玻璃電極法 (Glass electrode method)

(a) 設備：1) Beckman *p*H 計或其他適當出品者。

2) 50ml 的玻璃杯或塑膠杯若干個。

(b) 試藥：*p*H 4 及 *p*H 7 之緩衝標準液。

(c) 方法：

量取相當於 20gm 之風乾土壤於 50ml 之杯中，加入蒸餾水 20ml 後，以玻璃棒充分攪拌之，放置 1 小時，在電極插入前再予以充分攪拌，如能裝置攪拌器於電極側，在測定時，同時攪拌則結果更佳。

在測土壤 *p*H 前，先以 *p*H 4 及 *p*H 7 之緩衝標準液校正 *p*H 計，在每測定 10–20 樣本後，須以緩衝標準液重複校正一次，在測定其 *p*H 值時，記錄讀數至小數第一位（圖片 6）

土壤 *p*H 分爲 5 等級：

1) 强酸性 (pH<5.6)　2) 中酸性 (pH5.6–6.5)　3) 中性 (pH6.6–7.3)

4) 微鹼性 (pH7.4–8.0)　5) 鹼性 (pH>8.0)

在農田肥力分佈圖上，各以 A. B. C. D. E 表示之。

C. 有機物：霍克萊與白來克氏修正法：(Modified Walkeley and Black method)

a. 設備：1) 滴管　2) 攪拌器　3) 廣口三角瓶若干個

b. 試藥：1) 0.4N 重鉻酸鉀 ($K_2Cr_2O_7$) 溶液，溶解 353gm 重鉻酸鉀於水中後，加水至 18公升。

2) 0.4N 硫酸亞鐵銨〔$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2(6H_2O$〕溶液，溶解 2,880gm 硫酸亞鐵銨於 12公升之水中，加濃硫酸 360ml，然後加水稀釋至 18公升。

3) 濃硫酸 36N

4) 磷酸 85%

5) 二苯胺 (Diphenylamine) 指示劑，溶解 2gm 的二苯胺於 100ml 的濃硫酸中。

c. 方法：

用接近於 1.5gm 的小匙，取土壤樣本於 250ml 的廣口三角瓶中，加 25ml 的(1)液然後加 25ml 的(3)液，勿須加熱放置過夜，至第二日加 50ml 水，待冷後加 5ml 的(4)液，及 5 滴的(5)液，於是以(2)液滴定之（圖片 7）在每次測定土壤時，須同時進行空白測定，以防硫酸亞鐵銨溶液，受氧化而發生濃度改變，土壤中有機物含量之計算如下：

$$\text{有機物 (O.M)\%} = 25\left(1-\frac{T}{S}\right)\times 0.2$$

式中　S＝空白滴定 0.4N 硫酸亞鐵銨溶液之 ml 數。

T＝土壤樣本滴定之 0.4N 硫酸亞鐵銨溶液之 ml 數。

土壤有機物含量共分爲極低(<1%)，低 (1–2%)，中 (2–3%) 及高 (>3%) 等 4 級，在農田肥

力分佈圖上，各以 VL, L, M, H 表示之。

D. 土壤有效磷：

白雷氏第一法 (Bray's P_1 method) (0.025N HCl-0.03N NH_4F)

a. 設備：1) 分光比色計或光電比色計　　2) 比色管

3) 震盪機（每分往返搖動 120次）　4) 吸液機 (Pipetting machine)

5) 50ml 三角瓶、漏斗管、吸管等。

b. 試藥：1) 抽出液 0.025N HCl-0.03N NH_4F

2) 鉬酸銨液〔$(NH_4)_6Mo_7O_{24}4H_2O$〕，溶解 100gm 鉬酸銨於 850ml 的水中，另以 160ml 的水加入 1700ml 的濃 HCl 中，待冷後，再以溶解之鉬酸銨徐徐加入鹽酸中並予以攪拌。

3) Amino-naphthol-Sulfonic acid: 以 25gm 的 1-amino-2-naphthol-4 sulfonic acid, 5gm 的亞硫酸鈉 (Na_2SO_3)，及 146.25gm 的偏亞硫酸鈉 ($Na_2S_2O_5$)的細粉，混合後取 8gm 溶解於 50ml 之溫熱蒸餾水中。

4) 磷酸標準原液：溶解 4.3932gm 的磷酸二氫鉀 KH_2PO_4) 於 1 公升的抽出液中，此液含磷 (P) 1000ppm

5) 磷酸標準稀液：精確地吸取磷酸標準液 10ml 用抽出液稀釋至 1000ml 此液含磷(P) 10ppm.

c. 方法：

1) 土壤磷含量標準曲線之繪製：應用 6 隻比色管按照下表所列分量，以有刻度之吸管吸取抽出液及標準磷酸液，吸畢，每管中各加 5 滴的(2)液，徐徐搖勻後，再加 5 滴的(3)液，再搖勻，靜置30分鐘，即生成深淺不同的藍色溶液，即可進行測定，測定時若為光電比色計則應選紅色之濾光片，如用分光儀可採用 650mμ 之波長，於是記錄各濃度之讀數，並將此讀數與溶液濃度在方格紙上繪一標準磷酸曲線如圖 2

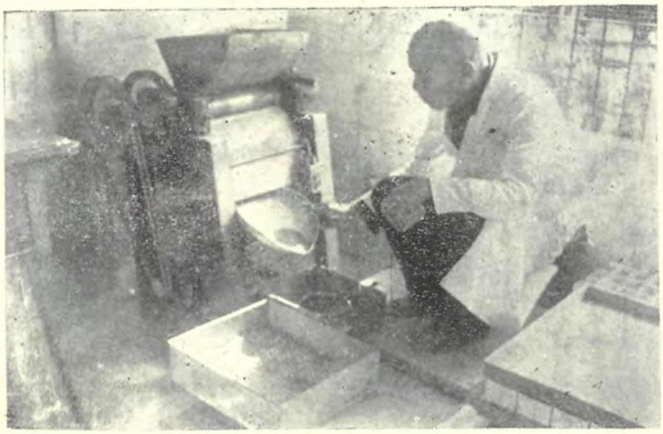
抽出液 ml	磷酸標準稀液 10ppm ml	溶液濃度 P ppm	相當于土壤之 P_2O_5 含量	
			ppm	kg/ha
5	0	0	0.00	0.00
4	1	2	45.80	114.50
3	2	4	91.60	229.00
2	3	6	137.40	343.50
1	4	8	183.20	458.00
0	5	10	229.00	572.50

2) 土壤樣本之測定：取經過 1mm 篩篩過之風乾土壤 1gm（如進行大量樣本速測，可採用相當於 1gm 之容器）放入搖瓶內利用吸液機（圖片 8）加抽出液 10ml，置於震盪機中(圖片 9）搖動40秒，隨即過濾，取濾液 5ml，注入比色管內，加(2)液 5 滴，搖勻，再加(3)液 5 滴，再混勻，放置30分鐘，置於光電比色計或分光儀器中讀取之，根據其透光度讀數，在標準磷酸曲線上，求出其磷酸含量，或改算為公斤/公頃數。

土壤中磷酸 (P_2O_5) 的等級，根據過去水稻試驗成績，暫分為極低（<23 公斤/公頃），低（24-58 公斤/公頃），中（59-115公斤/公頃），及高（>115公斤/公頃）在農田肥力分佈圖上各以 VL, L, M 及 H 表示之。

圖片1. 土壤樣本之採取及其所需工具包括地籍圖，資料表，土鑽，塑膠桶及紙盒等

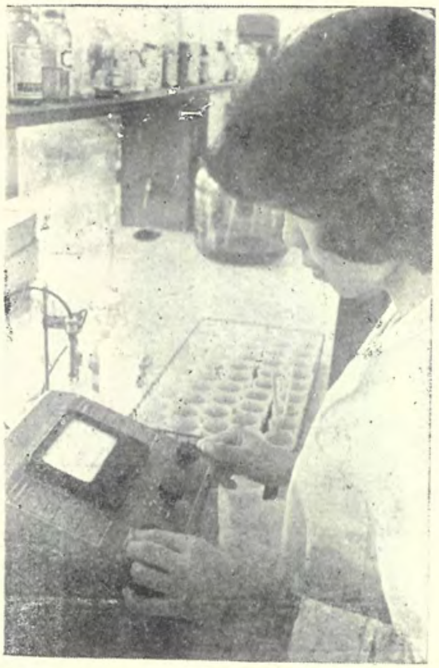
圖片2. 土壤樣本之乾燥



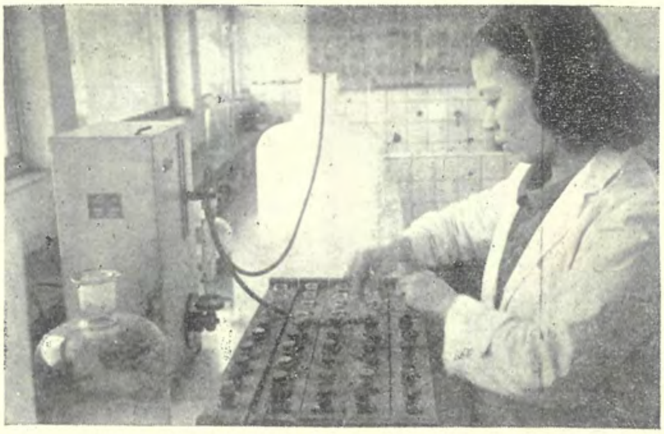
圖片3. 土壤樣本之磨細與篩別

圖片4. 土壤樣本調製後，上架供化驗之用

圖片5. 用比重計法測定土壤中砂粒，坋粒與粘粒的含量

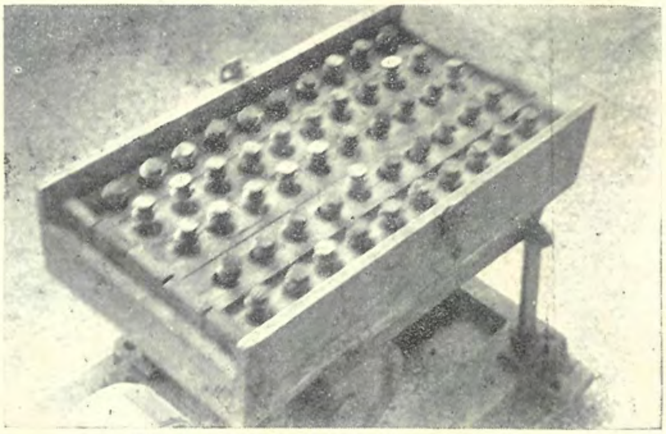


圖片6.用 Beckman *p*H 計測定土壤之 *p*H 之情形

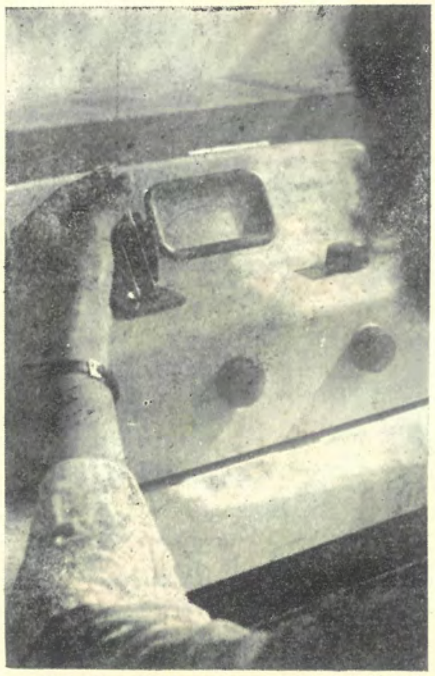


圖片8. 測定大量土壤樣本時，利用吸液機添加抽出液

圖片7、 土壤有機物含量之滴定

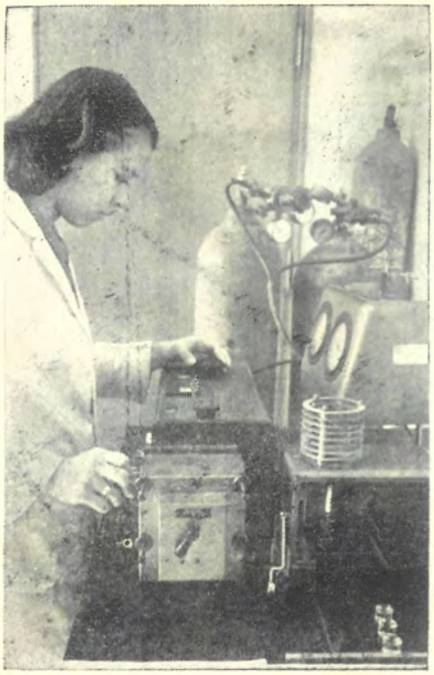


圖片9. 利用震盪機抽取土壤中有效養分



圖片10. 用 Spectronic 20' 比色計測定土壤中磷酸含量

圖片12. 土壤分析資料之統計



圖片11. 利用 Beckman D U 火焰分光儀測定鉀素含量

圖片13. 農田肥力分佈圖之編繪與着色情形

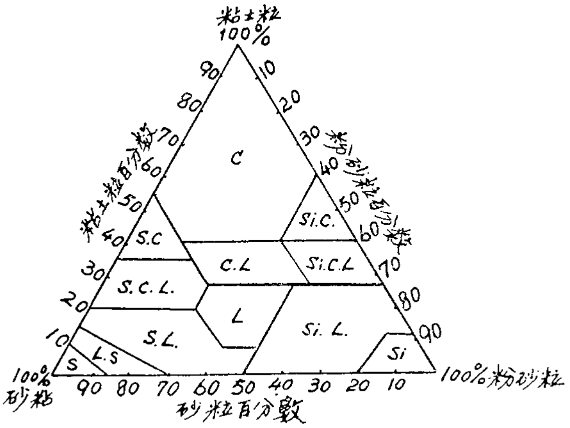
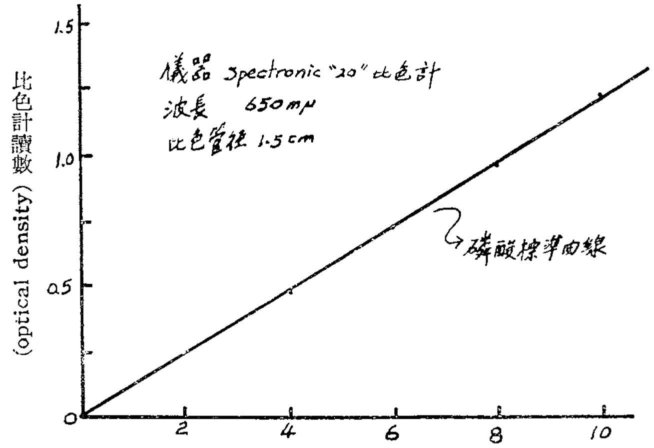


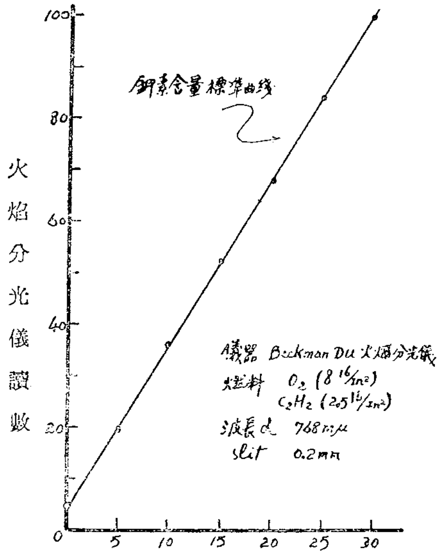
圖1. 土壤質地分類圖 (U.S.D.A)

註解	
S.	砂土
L.S.	壤質砂土
S.L.	砂質壤土
L.	壤土
Si.L.	粉砂質壤土
Si.	粉砂土
S.C.L.	砂質粘壤土
C.L.	粘質壤土
Si·C.L.	粉砂質粘壤土
S.C.	砂質粘土
C.	粘土
Si.C.	粉砂質粘土



溶液中磷 (P_2O_5) 含量 ppm.

圖2. 磷酸含量標準曲線



溶液中濃度 ppm.

圖3. 鉀素含量標準曲線

E. 土壤有效鉀

孟克氏法 (Mehlich's method) ($0.05N$ HCl-$0.025N$ H_2SO_4)

a. 設備：1) Beckman Model DU 火焰分光儀（或其他適當廠商出品之火焰分光儀）。

2) 震盪機（每分鐘往返搖動 120次）。

3) 50ml 三角瓶若干個、漏斗吸管、量瓶等。及玻璃小皿

b. 試藥：1) $0.05N$ HCl－$0.025N$ H_2SO_4 混合抽出液。

2) 鉀標準原液，溶解 3.814 gm 純 KCl 於 500ml 的量瓶中，加水至刻度，此液含K為 4,000ppm.

3) 鉀標準稀液：精確地用吸管吸取鉀標準原液 10ml 於 1000-ml 的量瓶中，加抽出液至刻度，此液含鉀之濃度為 40ppm.

c. 方法：

1) 土壤鉀素含量標準曲線之繪製：應用 7 個 200ml 的量瓶，按照下表以有刻度的吸管，吸取抽出液及標準鉀稀液於量瓶中，搖勻後，約傾出 5ml 於小玻璃皿中，應用 Beckman DU 火焰分光儀測定各濃度溶液之讀數，然後將照度百分率與溶液濃度繪於方格紙上，如若讀數不在一線上，表示分析誤差過大，須重複測定。

抽出液 ml	40ppm 標準 K 液 ml	溶液濃度 K ppm	相當于土壤中 K_2O之含量	
			ppm	kg/ha
200	0	0	0.0	0.0
175	25	5	24.1	60.3
150	50	10	48.2	120.5
125	75	15	72.3	180.6
100	100	20	96.4	241.0
75	125	25	120.5	301.3
50	150	30	144.6	361.5

2) 土壤樣本之測定：取經過 1mm 篩篩過風乾土壤樣本 5gm（或採用相當於 5gm 之容器），加 $0.05N$ HCl-$0.025N$ H_2SO_4 抽出液 20ml，搖動 5 分鐘，隨即過濾，取濾液 5ml 於小玻璃皿中，用火焰分光儀測定其讀數，根據鉀素標準曲線，找出土壤中 K_2O 之含量或以公斤/公頃表示之。

4. 資料之整理與繪製 土壤測定完成後，其資料由統計人員按照鄉鎮公所，所送土壤樣本總數分別計算土壤質地，*p*H, 有機物，磷及鉀各等級所佔之百分比（圖片12），以探討各鄉鎮農田肥力狀況，為明瞭肥力分佈情形，更由繪圖人員，將分析資料依照採樣號碼，填寫於原採樣底圖上（即 1/4800 地籍圖）後着手繪圖，其步驟先將 1/4800 地籍圖，依其經緯度移於方格紙上後，縮小為 1/25,000 之鄉鎮圖，再縮小為 1/100,000 之縣農田肥力分佈圖，更縮小為 1/500,000 全省農田肥力分佈圖，縣農田肥力分佈圖經由複印機 (Copy machine) 複製後，依照肥力等級分別予以着色，以供縣農業建設與農務推廣人員之用，本報告中，僅附省農田肥力分佈圖。

土壤測定結果之解釋

1. 質地：土壤質地的鬆密可影響耕作的難易，空氣與水份的保持，以及水分的滲透與根羣的伸展，並可反映土壤供應植物營養素的情形，為實用起見，本報告中土壤質地共分五級如下：

(A) 粗質地 (C) 以含砂為主，易於感覺，即使濕時，亦易碎散，無粘滑感覺，極易耕作，但保水力與養分含量均低，除在特殊情形之下，一般作物欲提高收量，須予適當改良。

(B) 中粗質地 (MC) 含有相當量的砂及少量之坋粒與粘粒，其中砂粒易於感覺，土塊可捻壓成片，片上無指紋片，易破裂，此類土壤甚易耕作，所蓄水分與養分較粗質地爲多，在有灌漑設備與良好土壤肥力管理之下，可供多數作物之耕營。

(C) 中質地 (M) 以含坋、砂粒爲主，或含等量的砂、坋粒與粘粒，濕時有一種平滑的感覺，有如麵粉捻壓時，易成形，但不粘着，此類土壤亦易耕作，並可保持充分水分與適量的養分，適宜於大多數作物之栽培。

(D) 中細質地 (MF) 爲粘粒與坋粒、砂粒三者混合物，濕時粘滑，可搓壓成各種形狀，不易變形，用刀切時，可形成平滑面，乾時變硬不易碎裂，此類土壤在過乾或過濕時，耕作稍感困難，雖然保水力與養分含量概高，但不能普遍適應各種作物之栽植。

(E) 細質地 (F) 以粘粒爲主，坋粒爲副，濕時極粘滑，乾時極硬，田間呈現龜裂現象，此類土壤通氣排水均不良，耕作極困難。

本省農田各級質地之分配百分比與其估計面積示於表 1 ，其分佈情形則詳見於臺灣土壤之質地圖上，其中顯示本省農田土壤之質地中屬於粗質地與細質地者僅佔極小部分，大多數農田土壤均屬中粗質地、中質地與中細質地。中粗質地在北部多分佈於新竹、苗栗一帶平原，南部則在斗六一帶分佈面積較多，此外，西部海岸一帶之土壤亦多屬中粗質地及小部分屬於粗質地、中質地遍佈全省各處，但以臺中、嘉義地區，分佈面積較廣，中細質地則多零星分佈於全省，其中以桃園地區分佈面積最廣，東部地區土壤之質地多屬中質地，乃至中細質地、中粗質地者多分佈於花蓮至瑞穗間，就全省農田面積而言，粗質地與細質地僅佔 1 %强，中粗質地則佔36%强，中質地佔43%强，中細質地佔19%强。

表 1　本省農田表土質地之分配百分比與其估計面積

縣別	測定土壤樣本總數	粗質地 (C)		中粗質地(MC)		中質地 (M)		中細質地 (MF)		細質地 (F)	
		%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha
臺北	3593	0.75	269.5	19.34	6948.9	43.45	15611.6	36.02	12942.0	0.45	161.7
桃園	5511	2.54	1399.8	18.13	9991.4	26.15	14411.3	52.98	29197.3	0.20	110.2
新竹	5283	0.31	163.8	45.62	24101.0	35.36	18680.7	18.41	9726.0	0.30	158.5
苗栗	5249	2.17	1139.0	66.29	34795.6	20.33	10671.2	11.15	5852.6	0.06	31.5
臺中	4623	0.26	120.2	22.04	10189.1	70.28	32490.4	7.42	3430.3	—	—
彰化	6697	1.76	1178.7	41.03	27477.8	2.96	1982.3	54.35	36398.2	—	—
雲林	8675	1.92	1665.6	57.40	49794.5	39.86	34578.6	0.82	711.4	—	—
南投	3420	0.06	20.5	11.40	3898.8	48.80	16689.6	39.71	13580.8	—	—
嘉義	7087	0.30	212.6	38.25	27107.8	56.24	39857.3	5.21	3692.3	—	—
臺南*	9673	—	—	39.36	38072.9	60.64	58657.1	—	—	—	—
高雄	5286	0.65	343.6	26.35	13928.6	50.81	26858.2	22.17	11719.1	—	—
屏東	6740	2.07	1395.2	34.35	23151.9	49.41	33302.3	14.44	9732.6	—	—
臺東	2845	0.35	99.6	16.56	4711.3	53.28	15158.2	29.80	8478.1	—	—
花蓮	2443	0.19	46.4	33.81	8259.8	43.51	10629.5	21.49	5250.0	—	—
宜蘭	1510	0.07	10.6	16.49	2489.9	83.04	12539.0	0.40	60.4	—	—
合計	78635		8065.1		284919.3		342117.3		150771.1		461.9
%**	100	1.02		36.23		43.51		19.17		0.04	

* 臺南縣農田表上的質地經曾浴沂技正實地校對後，仍發現不少農田屬于中細質地者。

** 乃以測定土壤樣本總數作爲100。

2. 土壤 *p*H：土壤中所含的膠體如粘粒與腐植質，均帶有負電荷，其表面必須吸着鈣、鎂、鈉、鉀與氫等帶有正電荷的離子，以中和其負電荷，此等被吸着的氫與金屬離子，常與土壤溶液中者成平衡狀態，因而左右土壤溶液的反應，如在濕潤氣候情形之下，土壤膠體多吸着氫而呈酸性反應：

$$\text{土壤膠體}\Big)\begin{matrix}H\\H\end{matrix} \rightleftharpoons H^+$$

吸着　　　　土壤溶液

但當土壤酸度甚强時，土壤中鋁被溶解，形成三價的鋁離子，土壤膠體對於鋁的吸着力較氫尤强，此時土壤膠體所吸着者，多爲氫離子與鋁離子，此種鋁離子經水解後，復增加土壤溶液中氫離子的濃度，如：

$$\text{土壤膠體})\ Al \rightleftharpoons Al^{+++}$$

吸着　　　　土壤溶液

$$Al^{+++} + H_20 \longrightarrow Al\ (0H)_3 + 3H^+$$

在乾旱與排水不良地區，土壤膠體多吸着金屬離子，如鈣、鎂、鉀等，因而土壤溶液中，氫離子濃度減少，代之而起者爲氫氧離子濃度的增加。

$$\text{土壤膠體})\ Ca + H_20 \rightleftharpoons \text{土壤膠體}\Big)\begin{matrix}H\\H\end{matrix} + Ca^{++} + 2\ 0H^-$$

通常土壤溶液中氫離子的濃度可以 *p*H 表示之，*p*H＝7 時爲中性，即土壤溶液中所含氫離子與氫氧離子的濃度相等，當 *p*H<7 時，則土壤溶液中所含氫離子濃度較氫氧者爲多，*p*H>7 時，則却相反，因此土壤膠體上所吸着者以氫離子爲主，則土壤溶液呈酸性反應，若以金屬離子爲主，則土壤溶液呈鹼性或中性反應。

各種作物各有其適應的土壤 *p*H，測定土壤酸度早爲從事農業生產者所重視，但在通常土壤 *p*H 範圍內，氫離子濃度對於作物並無毒害，如苜蓿爲酸度敏感的作物，在水耕給予充分養分情形之下，調整至 *p*H4.0 時，生長仍甚良好，但在相同 *p*H 土耕之下，則無法生長，因此土壤反應與作物生長之關係，乃受氫離子濃度間接的影響，一般言之，在强酸性土壤 (*p*H<5.6) 中所含鈣與磷的有效性較低，而鋁與錳的含量則甚高，有時可達到毒害的程度，因此對於鈣、磷需要多，而對鋁錳敏感的作物，則無法在强酸性土壤中生長，但當土壤 *p*H 達到中性以至鹼性反應時，則除鉬外，其他微量要素如鋅、銅、鐵、錳與硼等的有效性均減低，因此酸性土壤施用過量石灰時，有導致微量要素缺乏之虞。若土壤 *p*H 在 7.4 以上，作物生長不良時，應注意土壤中是否含有過量的可溶性鹽分，以與作物爭奪水分，若土壤 *p*H 在 8.5 以上，土壤膠體表面上吸着的金屬離子中，鈉的成分提高，以至影響土壤的理化性，此時必須施以改善，否則只有抗鹼作物可以生長。

由上可知，作物生長並非直接受土壤 *p*H 的影響，因此單憑 *p*H 值難作植物生長的指標，一般言之，在强酸性土壤上 (*p*H<5.6) 僅有耐酸作物如茶、鳳梨等可以生長良好，但耐酸性弱的作物如玉米、高粱、大豆、油菜等，必須施用石灰方可生長如圖片14，而水稻則屬例外，蓋土壤浸水後，强酸性的硝酸已不復存在，而形成鹽基性的銨，强酸性的硫酸，則還原爲弱酸性的硫化氫，高價鐵還原爲鹽基性强的低價鐵，因此浸水之後，土壤 *p*H 值將見提高，與風乾土壤的 *p*H 值不同。在中酸性土壤 (*p*H 5.5–6.5)，若土壤肥沃，大多數作物均可栽培，但若干豆科作物，欲獲得最高收量，仍然要施用少量石灰。中性土壤 (*p*H 6.6–7.5) 爲最理想的土壤反應，大多數作物均可栽培，在微鹼性 (*p*H 7.4–8.0) 與鹼性 (*p*H>8.0) 的土壤上，應注意鹽分濃度，與微量要素之有效性問題。

本省農田表土反應之分配百分比與其估計面積，示於表 2，其分佈情形則詳於臺灣土壤之反應圖上，其中顯示本省農田之强酸性土壤，多分佈於臺中以北，臺中以南平原地區之土壤反應多屬中性乃至微鹼性，部分地區亦呈鹼性反應，靠近山邊之丘陵地，農田多呈强酸性，乃至中酸性反應，東北部宜蘭縣內丘陵地多屬强酸性，蘭陽平原雖屬粘板岩沖積土，因雨水多，淋失强，亦呈中酸性

反應，東部花蓮至光復鄉一帶，縱谷冲積土之母岩多屬片岩，上源並有石灰岩，土壤反應呈中性乃至鹼性，從光復鄉至鹿野一帶，冲積土之母岩來源複雜，土壤反應有酸性者亦有鹼性者，而臺東縣卑南鄉一帶土壤多呈强酸性反應，就全省農田面積而言，土壤呈强酸性者佔 33.2%，中酸性者佔 25.2%，中性者 16.0%，微鹼性者 22.3%，鹼性者僅 3.4%，換言之，本省農田土壤呈酸性者約佔60%弱，居最大面積。

表 2　本省農田表土土壤反應之分配百分比與其估計面積

縣別	測定土壤樣本總數	强酸性 $pH<5.6$		中酸性 pH 5.6—6.5		中性 pH 6.6—7.3		微鹼性 pH 7.4—8.0		鹼性 $pH>8.0$	
		%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha
臺北	3593	95.62	34356.3	4.12	1480.3	0.19	68.3	0.06	21.6	0	—
桃園	5511	91.39	50365.0	8.45	4656.8	0.15	82.7	0.01	5.5	—	—
新竹	5283	71.99	38032.3	24.91	13160.0	2.80	1479.2	0.30	158.5	—	—
苗栗	5249	56.05	29421.6	34.27	17988.3	8.04	4220.2	1.64	869.8	—	—
臺中	4623	38.59	17840.2	50.53	23360.0	9.30	4299.4	1.43	661.1	0.15	69.3
彰化	6697	8.21	5498.2	15.14	10139.3	19.83	13280.2	52.86	35400.3	3.96	2652.0
雲林	8675	3.46	3001.6	12.13	10522.8	19.83	17202.5	58.91	51104.4	5.97	4918.7
南投	3420	60.41	20660.2	30.91	10571.2	6.78	2318.8	1.70	581.4	0.20	68.4
嘉義	7087	17.20	12189.6	26.43	18730.9	27.64	19588.5	25.85	18319.9	2.88	2041.1
臺南	9673	10.52	10176.0	26.07	25217.5	21.16	20468.1	31.34	30315.2	10.91	10553.2
高雄	5286	7.92	4186.5	29.32	15498.6	37.53	19838.4	24.25	12818.6	0.98	518.0
屛東	6740	22.57	15212.2	32.69	22033.1	17.89	12057.9	22.07	14875.2	4.78	3221.7
臺東	2845	32.05	9118.2	41.65	11849.4	19.29	5488.0	6.99	1088.7	0	—
花蓮	2443	12.09	2953.6	35.08	8570.0	15.80	3859.9	31.03	7580.6	5.90	1441.4
宜蘭	1510	53.70	8108.7	29.21	4410.7	12.78	1929.8	4.30	649.3	—	—
合計	78635		261120.2		198188.9		126181.9		175350.1		26133.1
%	100	33.2		25.2		16.0		22.3		3.4	

3. 土壤有機物：乃指土壤中含有不同腐爛程度的動植物質，其含量僅在 0.5-5 %間，但其對於土壤水分的滲透與保持，良好構造的形成，陽離子交換能量的增加，植物營養素的供給，以及微生物活動等，均有莫大的功用，因此土壤有機物爲構成作物高產量重要因子之一。

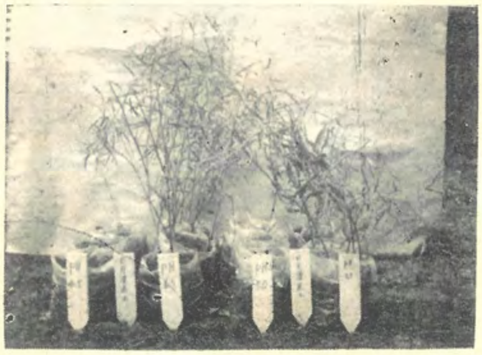
有機物爲土壤氮素的主要供給來源，由其含量高低，可約略反映土壤含氮情形，其彼此間之關係示於圖 4，由於土壤中氮素多以有機態存在，必須藉微生物作用轉變爲銨態與硝酸態後，植物方克利用，爲探討土壤有機物與氮素礦物化之關係，經選定 20 種有機物含量高低不等的土壤，在潛水與 30°C 保溫之下，經過 2 星期後，所產生的銨態與有機物含量之關係如圖 5，其中相關係數 (r) 爲 0.5878** 曾達到極顯著平準，但由圖中點的分佈情形，顯示土壤有機物含量在 2-3 %時，其產生礦物化的 NH_4-N，可從 45-130ppm ，有機物在 3-4 %時，產生的銨態可從 40-175ppm ，考其原因，各地土壤所含有機物的性質，差異甚大，其炭/氮比與其所吸着的鐵鋁亦異，因而由有機物含量，不足以明瞭有機物的分解速率，此外，土層中有機物含量的差異，更增加採樣的困難，因此有機物含量雖可反映土壤含氮狀況，但尙難作爲施肥的依據，關於土壤氮肥供應狀況的測定法仍待賡續研究。

土壤中有機物含量與氣溫、雨量、土壤質地及人爲管理等有密切關係，本省各縣農田土壤中，各等級有機物分配百分比與其估計面積示於表 3，其分佈情形則詳於臺灣土壤之有機物圖上，其中顯示在桃園以北地區，以及大肚溪與濁水溪中間一帶之冲積土所含有機物含量多屬於中或高等級，

a. 玉　　米

b. 高　　梁

c. 大　　豆



d. 油　　菜

圖14. 土壤 pH 與作物生長之關係（魚池紅茶試驗分所陳所長春泉提供）

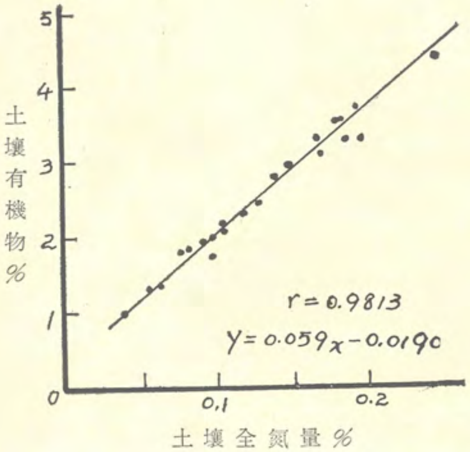


圖4. 土壤中有機物含量與全氮量之關係

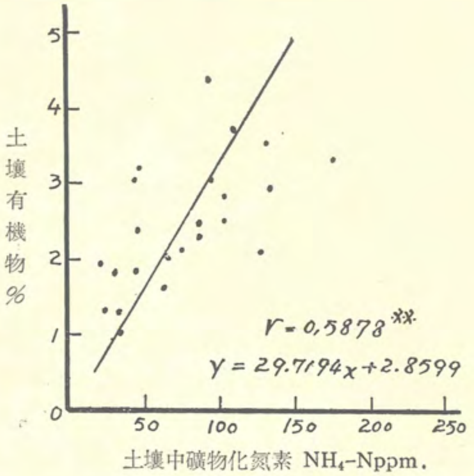


圖5. 土壤有機物含量與土壤礦物化氮素之關係

其他地區土壤中有機物含量多屬低或極低，在東部地區除花蓮至瑞穗一帶，以及臺東卑南臺地所含有機物偏低，東部其他地區多屬中或高等級，若就全省農田土壤中所含有機物而言，約有14%屬於極低，50.8%屬於低，26.9%屬於中，屬於高者僅 8.3%，換言之，約有 2/3 農田土壤中所含有機物屬於低以下者。

表3　本省農田表土有機物含量之分配百分比與其估計面積

縣別	測定土壤樣本總數	極低 (VL) <1%		低 (L) 1%—2%		中 (M) 2%—3%		高 (H) >3%	
		%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha
臺北	3593	3.48	1250.4	25.83	9280.7	41.89	15051.0	28.81	10351.4
桃園	5511	0.67	369.2	9.62	5301.6	52.33	28839.1	37.38	20600.1
新竹	5283	16.37	8648.3	55.82	29489.7	25.01	13212.8	2.80	1479.2
苗栗	5249	18.54	9731.6	54.32	28512.6	24.63	12928.3	2.51	1317.5
臺中	4623	13.37	6181.0	55.55	25680.8	28.27	13069.2	2.81	1299.1
彰化	6697	7.64	5116.5	45.20	30270.4	42.59	28523.5	4.57	3060.5
雲林	8675	19.80	17176.5	66.57	57749.5	12.52	10861.1	1.11	962.9
南投	3420	19.94	6819.5	55.34	18926.3	21.43	7329.1	3.39	1159.4
嘉義	7087	21.15	14989.0	69.03	48921.6	8.55	6059.4	1.27	900.0
臺南	9673	29.24	28283.9	66.08	63919.2	4.40	4256.1	0.28	270.8
高雄	5286	10.35	5471.0	62.85	33222.5	23.97	12670.5	2.83	1495.9
屏東	6740	4.72	3181.3	35.71	24068.5	46.25	31172.5	13.32	8977.7
臺東	2845	2.07	588.9	27.94	7948.9	39.54	11249.1	30.44	8660.2
花蓮	2443	7.66	1871.3	45.72	11169.4	32.95	8049.7	13.67	3339.6
宜蘭	1510	0.58	87.6	32.52	4910.5	53.58	8090.6	11.32	1709.3
總計	78635		109766.0		399372.2		211362.0		65583.6
%	100	14.0		50.8		26.9		8.3	

4. 土壤有效磷　一般土壤中全磷含量在 0.5-1 %間，相當於每公頃表土含磷 1000-2000公斤，但其中可被植物利用者僅爲全量的 0.5-1 %。

土壤中的磷大別可分爲有機磷與無機磷兩種，後者又可分爲鐵結合磷、鋁結合磷、鈣結合磷及結核磷等多種，本省主要農田土壤各種無機磷的分佈情形，據張守敬氏研究結果認爲在紅壤中以磷酸鐵爲主，粘板岩冲積土、片岩冲積土、泥岩冲積土及鹽土均以磷酸鈣爲主，而酸性砂岩、頁岩冲積土則以磷酸鐵與磷酸鈣爲主。

土壤所含不同形態的磷肥與作物，對於磷肥的吸收，雖有密切的關係，但土壤中磷肥的有效性尙受其他因子的影響，諸如土壤中磷的吸着面問題 (adsorption surface available to phosphorus) 在通常情形之下，土壤中粘粒與氧化物含量愈高，吸着面愈大，所需要磷肥的施用量亦愈高，但在土壤同一磷速測值之下，往往質地粘重土壤中，作物對於磷的吸收大於質地輕鬆者，蓋土壤中粘土含量高時，除可供應磷肥的能量 (Capacity factor) 較高外，其更新速率 (Rate of Renewel) 亦高，一般土壤速測僅可測定土壤中營養素的濃度 (Intensity factor) 與一部分的供應能量 (Capacity factor) 但在較粘重的土壤，其眞正的供應能量常難檢出，其更新速率更無法測定，此外，目前土壤速測法中常重視土壤中所含無機態磷的檢出，對於有機態磷多被忽略，凡此種種因素均可導致土壤速測的誤差，因此，土壤速測值必須先經田間試驗，予以校正，方克作爲施肥的參考。

田間校正時，可在各地選取含磷高低不等的土壤多處，施以肥料處理，最簡單者可設三要素完全區 (NPK) 與氮鉀區 (NK)，待供試作物栽培收穫後，以 NPK 區之產量作爲 100，求 NK 區產量的百分比，其百分比愈低，表示施磷效果愈大，其百分比愈高，磷效愈低，超過 100 時，施磷無效，由各處所獲得無磷區的收量百分比，與各該地土壤中的磷速測值，可求兩者間之相關情形，由相關係數的性質與其顯著性，可顯示土壤磷速測值是否可供爲施肥的參考。

最近省內農業機構對於土壤速測工作甚爲重視，其中有關土壤磷速測經田間校正，獲有結果者示于圖 6-9 中，該圖等示土壤中磷用白雷氏 (Brays P_1 method) 第一法測定者，其臨界濃度（指低於該濃度時，施肥多可獲得增產）因作物種類而異，水稻爲 20ppm 相當於 115Kg/ha P_2O_5，甘蔗爲 14ppm 相當於 81.2Kg/ha P_2O_5，而成木茶樹則爲 3ppm 相當於 17.4Kg/ha P_2O_5，因此，同一土壤，缺磷程度可因作物種類而異，菸田土壤中磷的測定係採用 Dyer 氏法，其臨界濃度經蔡清棨氏定爲 150ppm P. 由於採用化驗方法不同，速測值相差懸殊，由此可知，土壤中磷的臨界濃度，可因作物種類與速測方法不同而異。

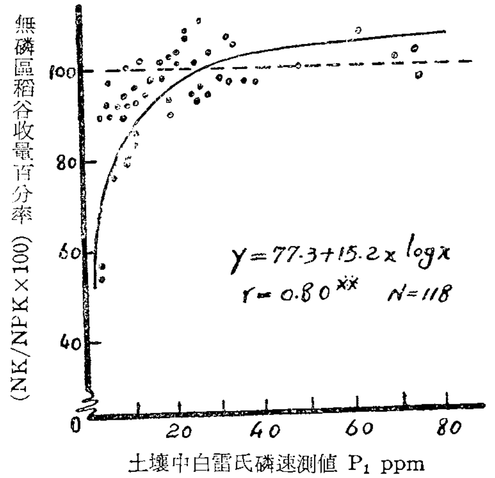


圖6. 土壤中白雷氏磷含量與無磷區稻谷收量百分率 (NK/NPK×100) 之關係

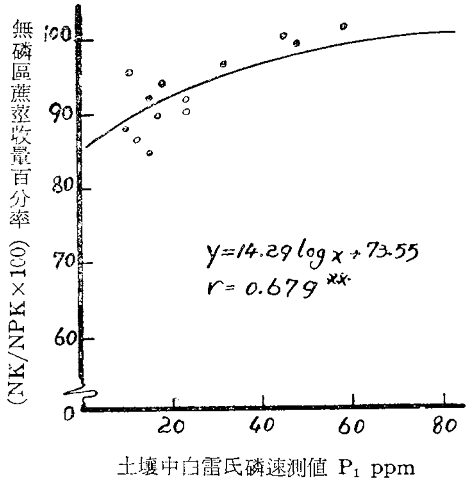


圖7. 土壤中白雷氏磷含量與無磷區蔗莖收量百分率 (NK/NPK×100) 之關係

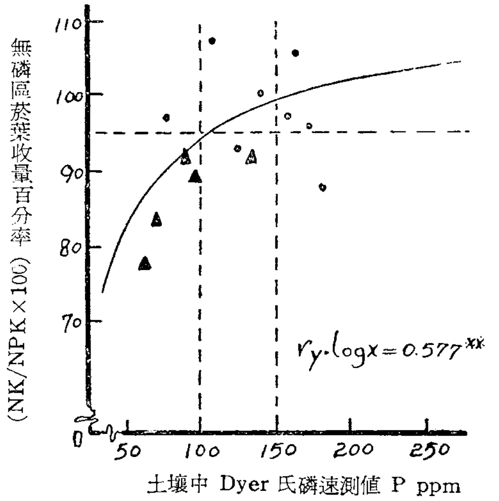


圖8. 土壤中 Dyer 磷含量與無磷區菸葉收量百分率 (NK/NPK×100) 之關係

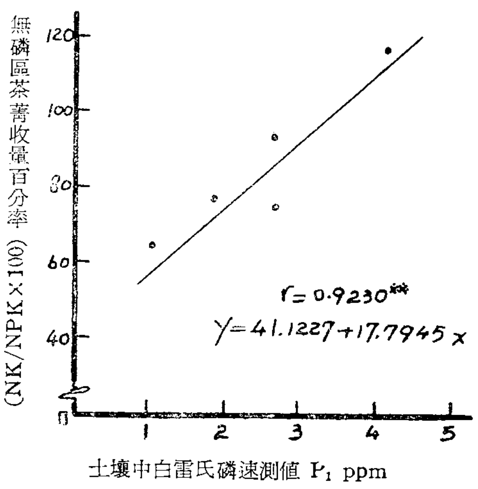


圖9. 土壤中白雷氏磷含量與無磷區茶菁收量百分率 (NK/NPK×100) 之關係

根據上述田間試驗結果，在不同磷速測值之下磷肥之推薦量暫定如表 4

表 4　土壤磷速測值與磷肥推薦量

作物	適應土壤或地區	土壤磷速測值	磷肥推薦量	備考
水稻	各類土壤	<23 kg/ha P_2O_5	50—70 kg/ha P_2O_5	土壤磷用 Bray 氏第一法
		24—58	30—50	
		59—115	20—40	
		>115	0—20	
甘蔗	擬灰化壤	<80	40—100	仝上
		>80	0—40	
成木茶樹	酸性紅壤	>17	20—40	仝上
		<17	0—20	
菸草	臺中地區	<570	50—70	土壤磷用 Dyer 氏
		570—860	30—50	
		>860	0—30	

本省農田表土中磷肥含量的分配，及其估計面積詳於表 5 ，而分佈情形則詳于有效磷含量之分佈圖上，其中顯示在桃園、苗栗一帶，農田土壤中含磷較低，而豐原、臺中間土壤含磷特高，彰化至嘉義間若干表土中含磷仍低，而新營四圍農田中，含磷亦不高，在本省最南端之恒春約有半數以上農田表土中，磷含量居於低位，東部地區以花蓮壽豐間以及東海岸地區之農田中含磷亦偏低，就全省農田面積而言，農田表土中含磷極低者約 7 %， 低者 29.7%，中者 31.9%，高者 31.4%，換言之全省約有 2/3 以上農田所含磷肥均偏低。

表 5　本省農田表土中磷肥含量分配百分比與其估計面積

縣別	測定土壤樣本總數	極低 (VL) (<23 P_2O_5 kg/ha) %	極低 估計面積 he	低 (L) (24-58 P_2O_5 kg/ha) %	低 估計面積 he	中 (M) (59-115 P_2O_5 kg/ha) %	中 估計面積 he	高 (H) (>115 P_2O_5 pg/ha) %	高 估計面積 he
臺北	3593	2.03	729.4	20.26	7279.4	30.75	11048.5	46.95	16869.1
桃園	5511	14.95	8238.9	54.04	29781.4	20.76	11440.8	10.25	5648.8
新竹	5283	12.47	6587.9	38.82	20508.6	21.43	11321.5	27.28	14412.0
栗苗	5249	12.08	6340.8	32.65	17138.0	24.84	13038.5	30.43	15972.7
臺中	4623	0.50	231.2	7.94	3670.7	26.11	12070.7	65.45	30257.5
彰化	6697	4.58	3067.2	25.34	16970.2	38.33	25669.6	31.75	21263.0
雲林	8675	5.85	5074.9	27.94	24238.0	43.47	37710.2	22.75	19727.0
南投	3420	4.27	1460.3	23.77	8129.2	23.95	8190.9	48.01	16419.4
嘉義	7087	2.75	1948.9	32.67	33153.2	37.47	26555.0	27.11	19212.9
臺南	9673	8.00	7738.4	36.06	34880.8	32.97	31891.9	22.97	22218.9
高雄	5286	5.54	2928.4	27.60	14589.4	31.58	16693.2	35.28	18649.0
屏東	6740	5.37	3619.4	26.59	17921.7	36.07	24311.2	31.97	21547.7
臺東	2845	11.21	3189.2	24.67	7018.6	25.61	8139.5	35.51	10102.6
花蓮	2443	13.47	3290.7	23.70	5789.9	27.51	6720.7	35.32	8628.7
宜蘭	1510	3.97	599.5	16.03	2420.5	42.32	6390.3	37.68	5689.7
合計	78635		55045.1		233489.7		251192.5		246619.0
%	100	7.0		29.7		31.9		31.4	

5. 土壤有效鉀　土壤中鉀素乃從礦物風化而來，全鉀含量約在 0.02%–4%，其中僅有少部分可供作物吸收利用，因此往往全鉀含量甚高的土壤，施用鉀肥仍可獲得顯著的效應。土壤中鉀素依其形態可分為：1) 礦物性鉀乃存在於原生礦物中，如長石、雲母等其溶解度甚低，非經長期風化作用之後，植物未能立即利用，2) 交換性鉀乃指土壤膠體表面吸着的鉀素，可與土壤溶液中帶有正電荷離子發生交換作用，3) 非交換性鉀乃指存於土壤膠體內部的鉀素，不為土壤溶液中其他帶正電荷離子所置換者，此種鉀素不易為植物利用，4) 水溶性鉀乃指存在於土壤溶液中的鉀素，可立即被植物利用者，但在土壤中含量甚微，後三種鉀素在土壤中經常保持平衡狀態如下：

非交換性鉀 $\rightleftharpoons$ 交換性鉀 $\rightleftharpoons$ 水溶性鉀

本省各類土壤中交換性鉀約在 50–100ppm，其中以紅壤最低，泥岩冲積土及結晶片岩冲積土偏高，而砂岩、頁岩冲積土居中，鹽土最高，常超出 100ppm，各土類中非交換性鉀含量，常較交換性鉀為高，一般言之，紅壤在 100ppm 左右，砂岩頁岩冲積土與粘板岩冲積土在 100–200 ppm，泥岩冲積土及結晶片岩冲積土常超出 200ppm，有時甚至大於 300ppm。

作物對於土壤中鉀的吸取，雖與其存在的形態有關，但在生育過程中，土壤中鉀的供應充裕與否，仍然受濃度 (Intensity factor) 供應能量(Capacity factor)與更新速率(Rate of renewal)的影響，目前土壤鉀速測對於土壤溶液中鉀的濃度，以及所含粘土礦物的種類，多難兼顧，因此尚難明瞭生育過程中，鉀的供應狀況，所得速測值常有偏差，須經田間試驗予以校正，否則意義不大。

曾憲鼎、王接皇兩氏用孟立克氏法 (Mehlich; 0.05N HCl – 0.025N H_2SO_4) 與中性醋酸銨法 (Neutral ammonium acetate) 測定稻田鉀肥供應能力時，認為兩法具有同等的效果，因此乃採用較為方便的孟立克氏法，所得土壤鉀測定值與無鉀區稻谷收量百分率的關係，經 118 處田間試驗結果示於圖10中，蘇楠榮氏測定鳳梨園土壤鉀素供應能力時，乃用中性醋酸銨法測定土壤中交換性鉀的含量所得土壤鉀測定值與無鉀區鳳梨果實收量百分率的關係如圖11，何昭仁氏在嘉義一帶測定甘藷田土壤中含鉀量，與無鉀區甘藷塊根收量百分率的關係時，土壤鉀之測定乃採用乳酸鈣抽取法，所得結果如圖12，由上各圖顯示稻田中孟立克氏之臨界濃度為 35ppm (105Kg/ha K_2O)，鳳梨園之交換性鉀為 140ppm (420Kg/ha K_2O)，甘藷田之乳酸鈣抽出鉀為 60ppm (180Kg/ha K_2O)，其他作物對於土壤中交換性鉀之臨界濃度，業已檢定者有甘蔗為72–80ppm(210–240Kg/ha K_2O)，成木茶樹為 25ppm (75Kg/ha K_2O)。

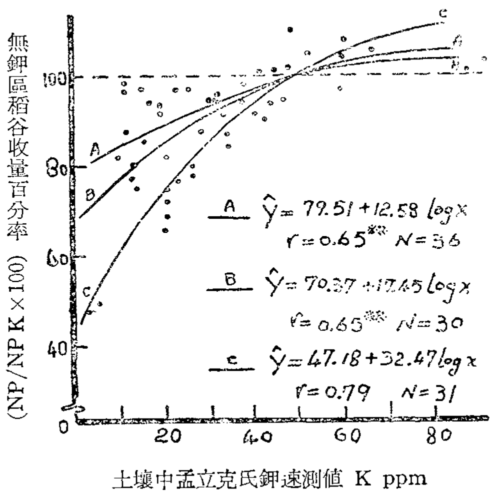


圖10. 土壤中孟立克 (Melich) 氏鉀含量與無鉀區稻谷收量百分率 NP/NPK×100) 之關係

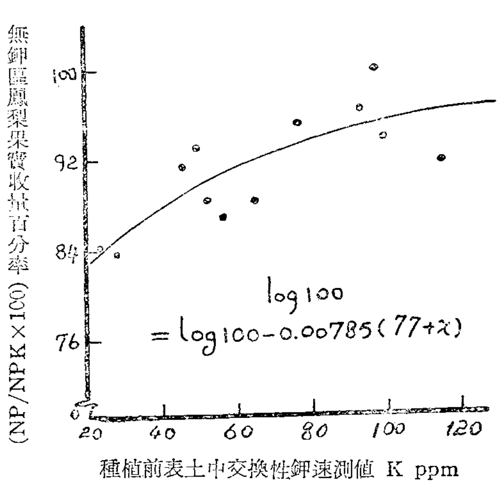
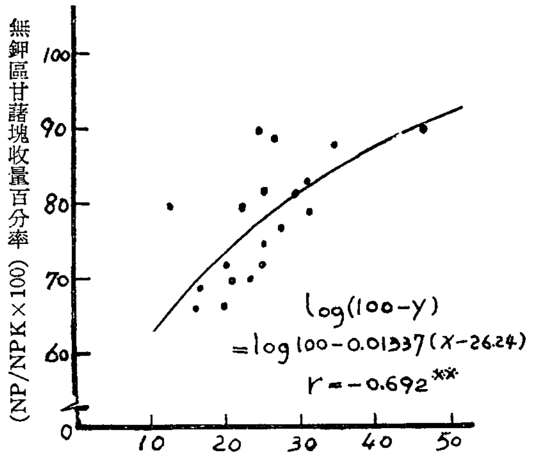


圖11. 土壤中交換性鉀與無鉀區鳳梨果實收量百分率 (NP/NPK×100) 之關係



表土中%乳酸鈣 (pH3.6) 可抽出鉀值 Kppm

圖12. 土壤中乳酸鈣 (*p*H3.6) 抽出鉀與無鉀區甘藷塊根收量百分率 (NP/NPK×100) 之關係

根據上述資料，在不同鉀速測值之下，鉀肥之推薦量暫定如表 6 。

表 6　土壤鉀速測值與鉀肥推薦量

作物	適應土壤或地區	土壤速測值	肥推鉀薦量	備註
水稻	各類土壤	<45 K_2O kg/ha	50—70 K_2O kg/ha	鉀速測用孟立克氏法，鉀肥推薦量由臺灣省農業試驗所土壤肥力研究室擬定
		46—105	30—50	
		106—240	20—40	
		>240	0—20	
甘蔗	酸性土壤	<60	200	鉀速測用中性醋酸銨法，鉀肥推薦量由蘇楠榮氏擬定
		120	150	
		180	100	
		240	50	
甘藷	石灰性與非石灰性土壤	<60	240	鉀速測用 *p*H3.6 ，0.6%乳酸鈣抽取法，鉀肥推薦量由何昭仁氏擬定
		60—90	180	
		90—120	120	
		120—180	60	
		>180	0—60	
鳳梨	酸性土壤	<100	640—800(210—270)*	鉀速測用中性醋酸銨法，鉀肥推薦量由蘇楠榮氏擬定
		108—210	480—640(160—210)	
		213—315	320—480(110—160)	
		318—420	160—320(50—110)	
		>420	0—160(0— 50)	
成本茶樹	酸性紅土	<75	30—60	鉀速測用中性醋酸銨法，鉀肥推薦量由林家棻擬定
		>75	0—30	

* 括弧內係指宿根用量

本省農田表土中鉀肥含量的分佈情形，及其估計面積詳於表 7 ，及臺灣土壤有效鉀含量圖上，其中顯示在北部地區以桃園一帶農田表土含鉀較低，中南部以彰化、嘉義間為低，南部屏東一帶含

鉀亦低。在東北部地區，蘭陽平原中鉀含量甚低，而東部則以花蓮至玉里間，以及池上至鹿野間含鉀較低，就全省農田面積而言，表土含鉀極低者佔 4.3%，低者 36.5%，中者 43.2%，高者僅 16.2%，換言之，約有80%的農田表土中含鉀量均偏低。

表 7　本省農田表土中鉀肥含量分配百分比與其估計面積

縣別	測定土壤樣本總數	極低 (VL) (<45 K_2O kg/ha)		低 (L) (46-105 K_2O kg/ha)		中 (M) (106-240 K_2O kg/ha)		高 (H) (>240 K_2O kg/ha)	
		%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha	%	估計面積 ha
臺北	3593	4.17	1498.3	45.25	16258.3	40.52	14558.8	10.05	3611.0
桃園	5511	0.40	22.0	46.54	25648.2	43.35	23890.2	9.71	53519.2
新竹	5283	1.14	602.3	28.58	15098.8	48.19	25458.8	22.09	11670.1
苗栗	5249	0.59	309.7	15.68	8230.4	55.90	29341.9	27.83	14608.0
臺中	4623	7.92	3661.4	29.57	13670.2	37.79	17470.3	24.72	11428.1
彰化	6697	11.15	7467.2	42.53	28482.3	32.78	21952.8	13.54	9067.7
雲林	8675	3.09	2680.6	39.75	34483.1	43.26	37528.1	13.90	12058.3
南投	3420	4.21	1439.8	37.05	12671.1	40.76	13939.9	17.98	6149.2
嘉義	7087	1.92	1360.7	30.87	21877.6	55.16	39091.9	12.05	8539.8
臺南	9673	1.21	1170.4	34.03	32917.2	53.66	51905.3	11.10	10737.0
高雄	5286	3.10	1638.7	31.67	16740.8	47.84	25288.2	17.39	9192.4
屏東	6740	4.92	3316.1	47.26	31853.2	26.68	17982.3	21.14	14248.4
臺東	2845	8.12	2310.1	39.44	11220.7	35.89	10210.7	16.56	4711.3
花蓮	2443	10.19	2489.4	40.20	9820.9	31.35	7658.8	18.26	4460.9
宜蘭	1510	23.90	3608.9	50.73	7660.2	21.13	3190.6	4.24	640.2
總計	78635		33575.6		286633.0		339468.6		126473.6
%	100	4.3		36.5		43.2		16.1	

各縣農田肥力狀況的比較

農田肥力測定的最主要目的為檢定個別農場的肥力狀況，提供肥料推薦量，以為農民服務，以收經濟施肥的參考，但龐大的土壤速測資料經綜合整理之後，可瞭解各地區需肥情形，與需肥種類，對於目前本省各地區肥料之配給，對於從事肥料行政者，或設計者，以及從事土壤肥力研究者均有所參考。

各縣農田肥力狀況的比較乃引用 Parker et, al., 氏等肥力指數法 (Nutrient Index) 由下列公式求得之：

$$\text{肥力指數} = \frac{\text{極低樣本百分率} \times 1 + \text{低樣本百分率} \times 2 + \text{中樣本百分率} \times 3 + \text{高樣本百分率} \times 4}{100}$$

而肥力指數與肥力狀況，以及土壤酸度之關係規定如下：

肥力指數	肥力狀況	酸度狀況
<1.5	極低	極强
1.51-2.5	低	强
2.51-3.5	中	中
3.51-4.5	高	微
4.51-5.0	極高	極微

按照上述計算方法與規定，獲得結果如表 8，其中土壤酸性極强者有臺北、桃園、新竹與南投四縣，强者有苗栗、臺中、臺東與宜蘭四縣，中者有彰化、嘉義、臺南、高雄、屏東與花蓮 6 縣，微者

僅雲林1縣，土壤中有機物含量除臺北、桃園、屏東、臺東、花蓮、宜蘭等縣屬於中等。其他均偏低，土壤中有效磷含量除桃園偏低，臺中偏高外，其他均屬中等土壤中，有效鉀除宜蘭、彰化偏低外，其他均屬中等，根據上述各縣農田肥力狀況擬定稻田氮磷鉀肥推薦量附於表8，以供當局配肥之參考。

表8 本省各縣農田肥力狀況與稻田氮磷鉀肥推薦量

縣別	pH		有機物		有效磷		有效鉀		稻田氮磷鉀推薦量 kg/ha			備註
	肥力指數	酸度狀況	肥力指數	肥力狀況	肥力指數	肥力狀況	肥力指數	肥力狀況	氮 N	磷 P_2O_5	鉀 K_2O	
臺北	1.04	極强	2.96	中	3.22	中	2.56	中	80—100	20—40	30—50	避免生理酸性肥料
桃園	1.08	極强	3.36	中	2.26	低	2.62	中	80—100	40—80	30—50	避免生理酸性肥料
新竹	1.31	極强	2.14	低	2.64	中	2.91	中	90—110	30—50	30—50	避免生理酸性肥料
苗栗	2.06	强	2.11	低	2.74	中	3.10	中	90—110	30—50	30—50	
臺中	1.74	强	2.21	低	3.57	高	2.79	中	100—180	20—40	30—50	
彰化	3.29	中	2.44	低	2.97	中	2.49	低	100—120	30—50	40—80	
雲林	3.51	微	1.94	低	2.83	中	2.68	中	100—120	30—50	30—50	避免生理鹼性肥料
南投	1.49	極强	2.08	低	3.16	中	2.73	中	100—120	30—50	30—50	避免生理酸性肥料
嘉義	2.71	中	1.90	低	2.89	中	2.77	中	100—120	30—50	30—50	
臺南	3.06	中	1.76	低	2.71	中	2.75	中	100—120	30—50	30—50	
高雄	2.81	中	2.19	低	2.97	中	2.80	中	100—120	30—50	30—50	
屏東	2.54	中	2.68	中	2.95	中	2.64	中	90—110	30—50	30—50	
臺東	2.01	强	2.98	中	2.88	中	2.61	中	90—110	30—50	30—50	
花蓮	2.83	中	2.53	中	2.85	中	2.58	中	90—110	30—50	30—50	
宜蘭	2.19	强	2.72	中	3.14	中	2.05	低	90—110	20—40	40—80	

參考資料

1. 張守敬 (1951) 臺灣省土壤肥力概述 省農業試驗所報告第七號。
2. 曾憲鼎、王換皇 (1959) 臺灣稻田土壤有效性磷素測定方法之研究 農業研究第8卷，3—4合期。
3. 王換皇、曾憲鼎 (1962) 紅壤有效性磷酸及鉀素與水稻效應之相關研究 中華農學會報新第40期。
4. 曾憲鼎 (1963) 土壤速測之方法與應用 臺灣土壤肥料學會特刊(一)。
5. 盛澄淵、蘇楠榮、林銅鐘、馮明彬 (1964) 桃園紅壤磷鉀含量與水稻營養及肥料效應之關係 中華農學會報新48期。
6. 曾憲鼎 (1964) 臺灣粘板岩冲積土有效性磷與水稻生長效應之相關研究 農業研究第十三卷第二期。
7. 蘇楠榮 (1966) 環境因素與作物施鉀 土壤肥料通訊 No.187 臺灣省土壤肥料學會。
8. 蔡清溪、凌克品、陳茂淵、謝學賢 (1966) 土壤磷含量與菸草效應之關係 臺灣省公賣局菸葉試驗所年報。
9. 方士烈、莊作權、謝德土 (1966) 蔗田土壤有效磷化學速測法之研究 臺灣糖業試驗所研究彙報 No.41。
10. 林家棻 (1967) 植物分析與施肥(5)利葉片分析檢定本省主要茶區氮磷鉀需要狀況 中華農學會報新60期。
11. Hsi, L. C. and Chang, S. C. (1960) Soils and Soil Fertility of Taiwan Reports on Soils and Fertilizer Uses in Taiwan Province of the Republic of China.
12. Ho, C. T. (1967) Study on correlation of soil and plant potassium with response of sweet potato to added potash in chiayi in 1965/66. Potash Review, Aug, 1967. Nuhr, G. R., Datta,
13. N. P. Sankarasubramoney, H., Leley, V.K., and Donahue, R. L. (1965) Soil testing in India 2nd Ed. Published by United States Agency for International Development Missson to India, New Delhi.
14. Parker, F. W., Nelson, W. L., Winters, E., and Niles, I. E. (1951) The broad interpretation and application of soil test information. Agron. Jour. 43, 105-112.
15. Soil Science Society of America (1967) Soil testing and plant analysis, Part I Soil testing. SSSA 677 South Sagoe Rd., Madison, Wisconsin, U. S. A.
16. Wang, C. H. (1965) Determination and status of available phosphorus in Taiwan Paddy Soils. Soils and Fertilizers in Taiwan. The Society of Soil Scientists and Fertilizer Technologists of Taiwan.

A Report on the Soil Tests for the Cropland of Taiwan

Laboratory of Soil Fertility

Taiwan Agricultural Research Institute

English Summary

Soil testing is a practical method for evaluating the fertility status of soils and for providing a sound basis for making recommendation in respect of fertilizer applications and soil amendments to farmers for increasing crop production. It is estimated that 1,000,000 metric tons of fertilizers are consumed annually in Taiwan. The distribution of such a large amount of fertilizers to farmers is carried out under the fertilizer/paddy barter system. The per hectare fertilizer allocation rate for different crops are based on regional field trials. They do not necessarily represent the optimum rate for a great multitude of individual farm. It is, therefore, the application of fertilizers must be guided on a scientific basis in a rational manner to schieve the best result.

The project of soil tests on cropland of Taiwan was started in 1959 and ended in 1967. The surface-soil samples were collected systematically from every 10 hectares of cropland from county to county by using a cadastral map having a scale of 1:4,800. A total of 78,635 samples covering an acreage of 786,350 hectares of cropland in Taiwan were taken in which 15 counties were included with the exception of the Pescadores Island. Most of the soil samples were taken by the county-extension workers who had received a short course on the soil sampling method given by the soil scientists of the Laboratory of Soil Fertility of the Institute. After sampling, they were packed and mailed to the Laboratory for analysis.

Soils were analyzed for pH by the glass electrode method using a 1:1 soil to water ratio, and for organic matter, by a modified Walkley-Black method. Soil texture wss determined by an experienced technician with finger test checked frequently with hydrometer method. Available P and K were determined by Bray's P_1 method (0.025N HC1-0.03N NH_4F) and Mehlich method (0.05N HC1-0.025N H_2SO_4), respectively. The methods used for PK tests had been checked by field experiments on rice crop. It is, therefore, the results of PK tests are able to be used as an index for diagnosing the PK deficiencies in the paddy fields.

The results of the tests may be summarized as follows:

Soil texture refers relative proportion of sand, silt, and clay in the soil. It is one of the most important properties of soil which not only influences the physical properties but also the chemical behavior of the soils. For practical usage, the soils were classified into five groups instead of 12 classes in U. S. D. A. system, e.g., coarse texture for sand and loamy sand, moderately coarse texture for sandy loam, medium for loam, silt, and silt loam, moderately fine texture

for clay loam, sandy clay loam, and silt clay loam, and fine texture for sandy clay, silty clay and clay. The results are summarized on a map attached with the report and the area of the cultivated land in each textural group is estimated below:

Textural group	Coarse	Moderately coarse	Medinm	Moderately fine	Fine
Area, ha.	8,065.1	284,919.3	342,117,3	150,771.1	461.9
%	1.02	36.3	43.5	43.5	0.04

Generally speaking, most soils in Taiwan are of moderately coarse to medium in texture. The areas of coarse and fine texture are few, only about 1% of the cultivated land.

Soil reaction influences plant growth indirectly. A pH of 6.6–7.3 is considered to be the most suitable soil reaction for crops. The soils are classified into five groups according to the reactions, e. g., strongly acid soils with pH values below 5.6, moderately acid soils with pH values between 5.6–6.5, neutral soils with pH values from 6.6–7.3, moderately alkaline soils with pH values from 7.4–8.0 and alkaline soils with pH values above 8.0. The results of pH tests are summarized in a map attached wifh the report and the area of cultivated land in each pH group is estimated as follows:

pH group	Strongly acid	Moderately acid	Neutral	Moderately alkaline	Alkaline
	<5.6	5.6–6.5	6.6–7.3	7.4–8.0	>8.0
Area, ha,	261,120.0	198,188.9	126,181.9	175,350.0	26,133.1
%	33.2	25.2	16.0	22.5	3.4

It is particularly interested to note that strongly acid soils with pH values below 5.6 are estimated about one third of the cultivated land of Taiwan. The recent experiments on soybean, corn, sorghum and rape showed apparent responses of these crops to liming. It is thoughtful that liming strongly acid soil which was neglected in the past will be a challenge in the near future.

Organic matter content of soils is another important factor of soil fertility. It is not only a storehouse of plant nutrients but also essential in improving the physical, chemical and biological properties. The values of organic matter content in soils are arbitrarily divided into four levels, e. g., very low (below 1%), low (1–2%), medium (2–3%), and high (above 3%). The soil regions corresponding with the above levels are summarized on a map attached with the report. The area of cultivated land in each level of organic matter is estimated below:

Level of	Very low	Low	Medium	High
organic matter	<1%	1–2%	2–3%	>3%
Area, ha.	109,766.0	399,372.2	211,362.0	65,583.6
%	14.0	50.8	26.9	8.3

Due to the subtropical and tropical condition, the content of organic matter in the soils of Taiwan are generally low, the application and maintenance of organic matter especially for upland crop should be emphasized.

Phosphorus is one of the primary nutrient elements. However, the availability

of phosphorus in soils is affected not only by the forms they existed in the soils, but also by different crops and absorption surface available to phosphorus in the soil. For diagnosing purpose, the values of P-test have been evaluated by its correlation with yield response of crops common in Taiwan, So far as rice is concerned, the values of available phosphorus content in soils is divided into four levels, e.g., very low (below 23 kg/ha of P_2O_5), low (24-58 kg/ha of P_2O_5), medium (59-115 kg/ha of P_2O_5) and high (above 115 kg/ha of P_2O_5). The results of P-test are summarized on a map attached with the report. The area of the cultivated land in each level of phosphorus is estimated below:

Levels of Phosphorus	Very low	Low	Medium	High
P_2O_5 kg/ha	<23	24-58	59-115	>115
Area, ha	55,045.1	233,489.1	251,192.5	246,619.0
%	7.0	29.7	31.9	31.4

Potassium is another primary plant nutrient, The availability of potassium in soils is also affected by the intensity factor, capacity factor, and rate of renewal and kind of crops. The values of K-test are also calibrated with the yield response of crop by pot culture experiments followed by field trials. From the stand point of rice crop, the values of available potassium content in the soils are classified into four levels, e.g., very low (below 45 kg/ha of K_2O), low (46-105 kg/ha of K_2O), medium (106-240 kg/ha of K_2O) and high (above 240 kg/ha of K_2O). The results of K-test are summarized on a map attached with the report. The area of cultivated land in each level of potassium is estimated as follows:

Level of Potassium	Very low	Low	Medium	High
K_2O kg/ha	<45	46-105	106-240	>240
Area, ha	33,575.6	286,633.0	339,463.6	126,473.6
%	4.3	36.5	43.2	16.1

Tseng and Wong (3, 16) proposed that the critical concentrations of soil available P_2O_5 by Bray's P_1 method (0.025N HCl-0.03N NH_4F) and available K_2O by Mehlich method (0.05N HCI-0.025N H_2SO_4) on rice were 115 and 240 kg/ha, respectively. A decline of the concentrations just mentioned would indicate a need for PK fertilizations for increasing rice producition. Judging from the summaries of PK-test data, it is found that more than 60% of the cultivated land of Taiwan are deficient in phosphorus and more than 80% deficient in potassium, so far as rice is concerned. Most rice farmers in Taiwan prefer to add N-fertilizer and PK-fertilizer are usually applied in a little dosage or even neglected. It is logical to propose that PK fertilization should be much more emphasized from now on.

The nutrient index concept introduced by Parker et. al. (14) is particulary useful in formulating area-wise fertilizer recommendation. For preparing county-wise nutrient indices, the analysis values of these samples taken from the county should be summarized into percentages in each category for each nutrient, and the percentage in each category, "very low", "low", "medium", and "high" multiplied by

1, 2, 3, and 4 respectively, the sum of the figures thus obtained should be divided by 100 to give the index or weight average. An index below 1.5 is very low, between 1.5-2.0 is low, between 2.5-3.5 is medium and above 3.5 is high. The results of nutrient indices and county-wise fertilizer recommendation for rice is shown in Table 8 in the report. These modified recommendation might be helpful to the Food Bureau of Taiwan to allocate fertilizers to farmers whose field has not been individually tested.

Soil fertility maps having a scale of 1:100,000 have been made by drawing on the information gained from the soil test data of the county. There are five maps for each county to show the status of texture, pH, organic matter, available P and K. A total of 75 maps have been made and are going to be sent to the respective county. These maps might be helpful to the county-extension workers for better understanding the fertility status of their own county in order to achieve the best results of fertilizations. In addition, another set of fertility maps similar to those made for the county but on a state-wise basis with a scale of 1:500,000, has also been made. The summaries of soil test data on a state-wise basis as shown on the maps should be of help to administrators, and planners in determinig policies of fertilizer production, allocation, and consumption, and should also be helpful to research workers particularly from the point of views of change in fertility levels conditioned by different fertilizers use or by different crops and soil maagement practices.